

비대칭 망에서 동적 세그먼트 크기 조절을 통한 상향링크 혼잡제어

(Uplink Congestion Control over Asymmetric Networks
using Dynamic Segment Size Control)

제 정 광[†] 이 지 현^{**} 임 경 식^{***}

(Jungkwang Je) (Jihyun Lee) (Kyungshik Lim)

요 약 상향링크와 하향링크의 대역폭 차이가 큰 비대칭 망 환경에서 범용 TCP를 사용하는 경우, 상향링크의 혼잡으로 인해 TCP의 성능이 저하된다. 본 논문에서는 이러한 문제점을 개선하기 위하여 하향링크 상의 데이터 세그먼트를 망 환경에 최적화된 크기로 전송함으로써 수신단에서 생성되는 응답 패킷의 수를 감소시켜 상향링크의 혼잡을 완화시키는 동적 세그먼트 조정 기법을 제안한다. 이 기법은 범용 TCP의 단대단 의미구조를 유지하고 송수신단의 TCP 수정 없이 망 환경에 따라 세그먼트의 크기를 최적으로 조정함으로써 상향링크의 혼잡을 완화시킨다. 제안된 기법은 송수신단 사이에 위치한 게이트웨이에 적용되어 상향링크의 혼잡을 감지하고 동적으로 망의 비대칭율과 패킷 손실율을 측정한다. 그리하여 게이트웨이는 상향링크 혼잡 발생 시 시뮬레이션을 통하여 미리 도출되어진 세그먼트 조정계수 값을 참조하고 패킷을 재조립한 후 수신단으로 전송한다. 즉, 망의 비대칭율이 큰 경우 송수신단에서 전송되어지는 세그먼트의 크기를 조절하여 응답패킷의 수를 감소시킴으로써 상향링크의 혼잡을 완화시킨다. 또한 조정된 크기를 갖는 세그먼트에서 전송 도중 에러가 발생한 경우에는 빠른 복구를 위해 SACK를 사용하고 혼잡 제어 구간에서는 제안된 기법을 적용하지 않도록 하여 줄어드는 응답 패킷의 수로 인한 성능 저하를 방지한다. 이를 통해 제안된 기법을 비대칭 망의 한 종류인 GEO 위성망 환경에 적용하여 상향링크의 혼잡 발생 시 성능 저하의 방식을 시뮬레이션을 통하여 검증하였다.

키워드 : 비대칭 망, 패킷 재조립, 상향링크 혼잡, SACK, TCP

Abstract Asymmetric networks that the downlink bandwidth is larger than the uplink bandwidth may cause the degradation of the TCP performance due to the uplink congestion. In order to solve this problem, this paper designs and implements the Dynamic Segment Size Control mechanism which offers a suitable segment size for current networks. The proposed mechanism does not require any changes in customer premises but suppress the number of ACKs using segment reassembly technique to avoid the uplink congestion. The gateway which adapted the Dynamic Segment Size Control mechanism, detects the uplink congestion condition and dynamically measures the bandwidth asymmetric ratio and the packet loss ratio. The gateway reassembles some of segments received from the server into a large segment and transmits it to the client. This reduces the number of corresponding ACKs. In this mechanism, the SACK option is used when occurs the bit error during the transmission. Based on the simulation in the GEO satellite network environment, we analyzed the performance of the Dynamic Segment Size Control mechanism.

Key words : Asymmetric networks, Packet reassembly, Uplink congestion, SACK, TCP

· 본 논문은 정보통신연구진흥원의 대학 IT 연구센터(ITRC) 육성사업
(ITAC1090060300350001000100100)의 지원에 의해 수행되었음.

논문접수 : 2005년 10월 11일

심사완료 : 2007년 9월 17일

† 정 회 원 : 경북대학교 정보통신학과
jkje@ccmc.knu.ac.kr

** 학생회원 : 경북대학교 정보통신학과
hyuny@ccmc.knu.ac.kr

*** 중신회원 : 경북대학교 컴퓨터학과 교수
kslim@knu.ac.kr

: 개인 목적이거나 교육 목적인 경우, 이 저작물의 전체 또는 일부에 대한 복사본
혹은 디지털 사본의 제작을 허가합니다. 이 때, 사본은 상업적 수단으로 사용할
수 없으며 첫 페이지에 본 문구와 출처를 반드시 명시해야 합니다. 이 외의 목적
으로 복제, 배포, 출판, 전송 등 모든 유형의 사용행위를 하는 경우에 대하여는
사전에 허가를 얻고 비용을 지불해야 합니다.

정보과학회논문지: 정보통신 제34권 제6호(2007.12)

Copyright©2007 한국정보과학회

1. 서론

최근 위성 서비스 및 비대칭 망의 다양화로 인하여 상향링크와 하향링크의 대역폭이 다른 비대칭 망에서의 효율적인 통신이 요구되고 있다. 현재 가장 일반적으로 사용되는 전송계층 프로토콜인 TCP를 비대칭 망 환경에 적용하는 경우 하향링크에 비해 상대적으로 작은 대역폭을 지닌 상향링크에서는 응답 패킷으로 인한 혼잡이 발생하게 되고 이로 인하여 TCP의 성능이 저하된다 [1]. 본 논문에서는 이러한 비대칭 망에서 범용 TCP의 성능을 향상시키기 위해 동적 세그먼트 크기 조정 기법을 제안한다. 이 기법은 TCP의 단대단 의미구조를 잃지 않고 송신단과 수신단의 TCP 수정 없이 적용할 수 있다. 또 주어진 망 환경의 비대칭율과 패킷 손실율에 따른 세그먼트 크기로 데이터 패킷을 재조립하여 응답 패킷의 수를 줄이므로 상향링크의 혼잡을 제어 할 수 있다. 본 논문에서는 이러한 동적 세그먼트 크기 조정 기법을 이용하여 비대칭 망에서의 TCP 성능을 향상 시키고자 한다.

비대칭망에서 발생하는 TCP의 성능 저하를 해결하기 위해 기존의 다양한 연구들이 수행되었다. 기존의 연구는 크게 상향링크에서 응답 패킷의 조정을 통한 연구와 하향링크에서 데이터 패킷의 조정을 통한 연구로 나눌 수 있다[2]. 상향링크에서의 연구들로는 ACK Filtering, ACK Congestion Control 등이 존재하며, 하향링크의 연구들로는 Sender Pacing, ACK Reconstruction[3,4] 등이 존재한다. 본 논문에서는 하향링크 상의 데이터 세그먼트 크기를 조정하여 상향링크의 혼잡을 완화하는 방법에 초점을 맞추어 기존 연구들의 문제점을 개선하여 TCP의 성능을 향상시키는 동적 세그먼트 크기 조정 기법을 제안한다. 본 논문의 2장에서는 비대칭 망의 상향링크 혼잡 완화에 관련된 기존 연구들을 소개한다. 3장에서는 본 논문에서 제안하는 동적 세그먼트 크기 조정 기법에 대해 기술하고, 4장에서는 시뮬레이션을 통해 비대칭 망의 한 종류인 GEO 위성망 환경에서의 성능 향상 정도를 확인한다. 마지막으로 5장에서는 결론을 맺고, 향후 연구 방향을 제시한다.

2. 관련 연구

비대칭 망에서 상향링크의 혼잡을 해결하기 위한 연구는 크게 상향링크에서의 연구와 하향링크에서의 연구로 나누어진다. 이 중 본 논문에서 제안하는 기법이 초점을 맞추고 있는 하향링크를 통한 혼잡 제어에 관한 연구인 Sender Pacing 및 ACK Reconstruction을 소개한다. Sender Pacing 기법은 일반적으로 응답 필터링 기법 등과 함께 사용되며 데이터 패킷의 간격을 조절하

여 상향링크의 혼잡을 완화하는 방법이다. 불규칙적인 응답 패킷으로 인해 순간적으로 발생하는 대량의 데이터 패킷들을 일정 간격으로 나누어 전송함으로써 상향링크의 혼잡을 완화시킨다. 하지만 일정 간격으로 데이터 패킷을 전송함으로써 다른 기법들에 비해 처리량이 저하되는 문제점이 생기며, 각 패킷의 전송 간격을 계산해야 하기 때문에 송신단의 부하가 커지는 문제점이 생긴다. 또한, 송신단의 TCP를 수정해야 하는 단점이 존재한다. ACK Reconstruction 기법 역시 응답 필터링 기법으로 인하여 삭제되어진 응답패킷을 송신단 라우터에서 재생산하여 송신단으로 전달하므로 불규칙적인 응답 패킷으로 인한 처리량 저하를 완화시켜 송신단의 전송율을 증가시킨다.

하지만 이 기법들은 모두 수신단 게이트웨이의 응답 필터링 기법과 함께 동작되어야 하고, 이로 인해 송수신단 게이트웨이가 모두 요구되는 문제를 가진다. 본 논문에서는 수신단 게이트웨이가 요구되지 않는 하향링크에서의 혼잡제어를 제시함으로써 서비스 제공 측면에서 많은 비용을 절감할 수 있다.

3. 동적 세그먼트 크기 조정 기법

본 장에서는 단대단 의미구조를 깨지 않고 송수신단의 TCP 수정 없이 상향링크의 혼잡으로 인한 성능 저하를 개선할 수 있는 동적 세그먼트 조정 기법에 대하여 기술한다.

3.1 전체 구조

동적 세그먼트 크기 조정 기법은 송수신단 사이에 위치한 게이트웨이에서 세그먼트 조정계수에 따라 연속된 데이터 패킷들을 하나의 세그먼트로 재조립하여 수신단으로 전송하는 기법이다. 이때 세그먼트 조정계수란 상향링크 상의 응답패킷의 양을 줄이기 위해 수신단으로 전송되는 세그먼트의 크기를 결정하는 값으로써 시뮬레이션을 통하여 주어진 망에서 가장 좋은 전송율을 나타내는 세그먼트의 크기를 반영한다. 게이트웨이에서는 상향링크에 혼잡이 발생하면 세그먼트 조정계수 값을 참조하여 패킷의 크기를 조정 한다. 이를 위해서 동적으로 망의 환경인 비대칭율과 패킷 손실율을 측정하여 동일한 망 환경에서 측정되어진 세그먼트 조정계수 값을 참조한다. 게이트웨이는 세그먼트 조정계수 값에 따라 세그먼트를 재조립하여 수신단으로 전송하므로 응답 패킷의 수를 줄이고 상향링크의 혼잡을 방지 할 수 있다. 그림 1은 본 연구가 수행되어진 비대칭 망의 환경을 나타낸 것으로 상향링크에 비해 높은 대역폭의 하향링크로 구성되어 있다. 동적 세그먼트 크기 조절 기법은 그림 1과 같은 비대칭 망 환경에서 아래와 같은 절차를 통해 수행되어진다.

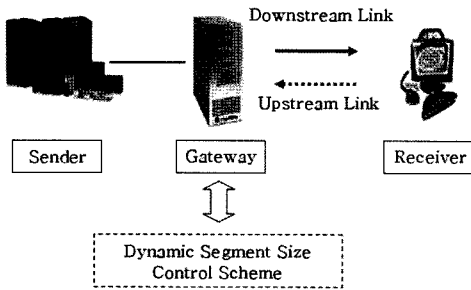


그림 1 제안된 기법의 망 구성도

- Step 1. 송신단과 수신단은 게이트웨이를 통하여 TCP 연결을 설정한다.
- Step 2. TCP 연결이 설정된 후, 송신단은 데이터 패킷을 수신단으로 전송한다. 이때 하향링크에 비해 낮은 대역폭을 가진 상향링크에서는 응답 패킷으로 인한 혼잡이 발생하게 되고 패킷의 지연으로 인해 RTT가 증가한다.
- Step 3. RTT의 증가로 상향링크의 혼잡을 감지한 게이트웨이에서는 시뮬레이션을 통해 측정되어진 세그먼트 조정계수 값 중 현재 망과 동일한 환경에서 측정되어진 세그먼트 조정계수 값을 참조한다.
- Step 4. 게이트웨이는 참조된 세그먼트 조정계수 값에 해당하는 여러 개의 패킷을 하나의 패킷으로 재조립하여 수신단으로 전송한다.

이와 같이 세그먼트 크기를 현재 망 환경에 최적화시켜 전송함으로써 수신단에서 생성되는 응답 패킷의 양을 감소시켜 상향링크의 혼잡을 완화시킨다.

3.2 시뮬레이션을 통한 최적의 세그먼트 조정계수 도출

게이트웨이에서 세그먼트 재조립 동작 시 세그먼트 조정 계수 값을 참조하기 위해서는 시뮬레이션을 통한 세그먼트 조정계수의 도출이 필요하다. 망 환경에 따른 세그먼트 조정계수를 도출하기 위하여 네트워크 시뮬레이터인 OPNET 10.0a를 사용하여 비대칭 대역폭을 가진 망 환경[9]을 구축하고 망의 성능에 영향을 주는 가장 큰 요인이 비대칭율과 패킷 손실율을 설정하여 그에 따른 세그먼트 조정 계수를 도출하였다. 표 1은 시뮬레이션에 사용된 비대칭 망 환경을 나타낸다. 대역폭의 비대칭율을 설정하기 위하여 실제 하향링크 상의 최대 성능을 전송 윈도우 크기와 RTT를 이용하여 구한다.

RTT가 520ms인 망 환경에서 하향링크는 비트 에러율이 없는 경우 약 1Mbps의 최대 성능을 가진다. 이때 요구되어지는 상향링크의 대역폭이 약 26Kbps이므로 이를 기준으로 1~6까지의 비대칭율을 가지도록 상

표 1 시뮬레이션 환경 설정

OPNET 10.0a Parameters			
Latency	Bit Error Rate	Bandwidth	Packet Size
*Fixed Latency 520ms	$0, 10^{-9}$ $\sim 10^{-6}$	*Up Link(Variable) : 4~26Kbps *Down Link(Fixed) : 45Mbps	*Data : 1480Bytes *ACK : 40Bytes

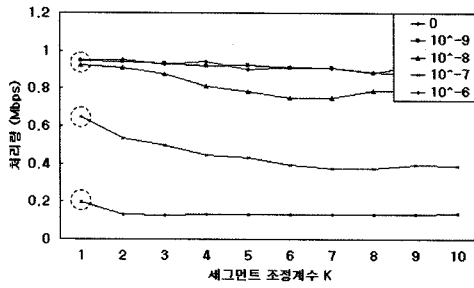
향링크 대역폭을 설정한다. 또한 각 비대칭 망에서 비트 에러에 의한 패킷 손실율을 적용하기 위하여 비트 에러율을 $0, 10^{-9} \sim 10^{-6}$ 까지 설정하여 주어진 망 환경에서 최적의 성능을 보이는 세그먼트 조정계수를 도출한다. 수신단에서는 지연 응답과 SACK를 지원하지 않는다는 가정 하에 시뮬레이션을 수행하였다.

그림 2는 세그먼트 조정계수와 상향링크 대역폭 변화에 따른 처리량의 변화를 나타낸다. 상향링크의 대역폭에 따라 최대의 처리량을 보이는 최적의 세그먼트 조정계수 값이 존재한다. 상향링크의 대역폭이 증가할수록 최적의 세그먼트 조정계수 값이 감소하는 것을 알 수 있는데 이는 대역폭이 증가할수록 적은 양의 응답 패킷 감소만으로도 상향링크의 혼잡을 완화할 수 있기 때문이다. 비트 에러율이 10^{-6} 이하인 경우에는 세그먼트 조정계수가 증가할수록 성능이 저하된다.

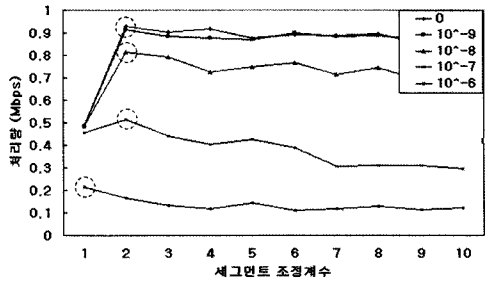
이는 비트 에러율이 높은 경우에는 상향링크의 혼잡으로 인한 성능 저하 요인보다 패킷 손실로 인한 성능 저하 요인이 더 크게 작용하기 때문이다. 또한 비트 에러가 높은 환경에서 세그먼트 크기의 증가는 세그먼트의 손실율을 증가시키기 때문에 세그먼트 조정계수가 증가할수록 성능이 저하된다. 비트 에러율이 10^{-7} 이상인 경우는 상향링크의 혼잡으로 인한 성능 저하 요인이 더 크게 작용하므로 세그먼트 크기 조정 기법을 적용함으로써 성능이 향상된다. 표 2는 시뮬레이션을 통하여 도출되어진 비대칭율과 비트 에러율에 따른 최적의 세그먼트 조정계수이다.

3.3 세그먼트 크기 조정

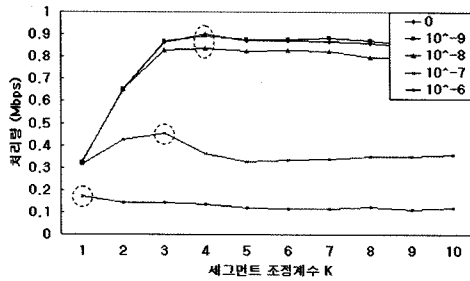
참조되어진 세그먼트 조정계수 값으로 세그먼트의 크기를 조정하기 위해 게이트웨이에서는 세그먼트의 재조립 기능이 요구되어진다. 게이트웨이는 여러 개의 세그먼트들을 세그먼트 조정계수 값에 따라 재조립하기 위해서 연속된 데이터 패킷을 버퍼링한다. 이때 세그먼트 조정계수개의 패킷이 모두 버퍼링 되거나 타이머가 만료되면 버퍼링된 패킷들을 조립한다. 이와 같이 세그먼트 크기를 조정하여 전송함으로써 수신 측에서 생성되는 응답 패킷의 양을 감소시켜 상향링크의 혼잡을 완화시킨다.



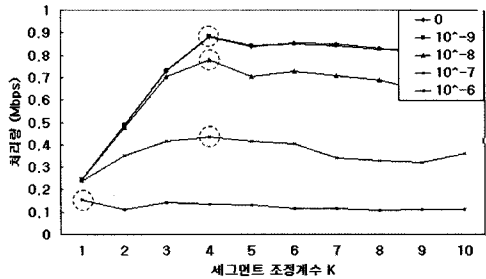
(a) 비대칭을 1, 상향링크 26.886Kbps



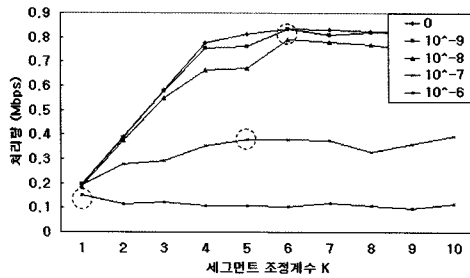
(b) 비대칭을 2, 상향링크 13.443Kbps



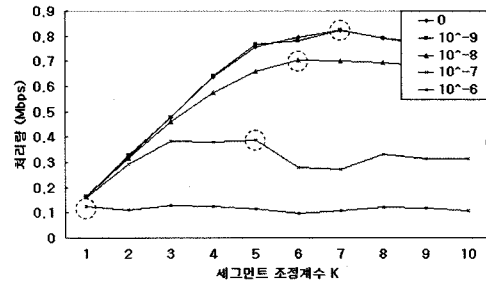
(c) 비대칭을 3, 상향링크 8.962Kbps



(d) 비대칭을 4, 상향링크 6.721Kbps



(e) 비대칭을 5, 상향링크 5.377Kbps



(f) 비대칭을 6, 상향링크 4.481Kbps

그림 2 세그먼트 조정계수와 상향링크 대역폭에 따른 처리량

표 2 비대칭율과 비트 에러율에 따른 세그먼트 조정계수

BER	Asym.	1	2	3	4	5	6
	0	1	2	4	4	6	7
10^{-9}	1	2	4	4	6	7	
10^{-8}	1	2	4	4	6	6	
10^{-7}	1	2	3	4	5	5	
10^{-6}	1	1	1	1	1	1	

세그먼트 조정계수 개의 패킷을 하나의 세그먼트로 조립하기 위하여 IP Header의 단편화와 관련 필드를 수정한다. 게이트웨이에서 측정되어진 세그먼트 조정계수 값이 3일 경우, 버퍼링된 3개의 패킷 중 첫 번째 패킷의 IP Header Identification 필드의 값을 2,3 번째 패킷의 필드에도 동일하게 수정한다. 그리고 Offset 필

드 또한 세그먼트 조정계수 값에 따른 값으로 설정한다. 이렇게 IP Header의 단편화 관련 필드들을 수정하여 전송함으로써 수신단의 IP 계층은 하나의 세그먼트가 망의 MTU로 인하여 세그먼트 조정계수 개 만큼 단편화되어 전송된 것으로 인식하게 된다. 이 경우, 송신단에서 보낸 3개의 데이터 패킷에 대해 하나의 응답 패킷만 생성된다. 그림 3은 세그먼트 조정계수 값이 3으로 측정된 환경에서의 세그먼트 크기 조정 과정이다. 연속된 3개의 데이터 패킷이 도착하면 그림 3의 Sender 측에 표시되어 있는 (1) 부분과 같이 3개의 데이터 패킷을 하나의 세그먼트로 조립한 뒤 망의 MTU에 맞도록 IP 단편화 기능을 사용하여 전송한다. 게이트웨이는 패킷을 무한히 기다리는 것을 방지하기 위해 타이머를 사

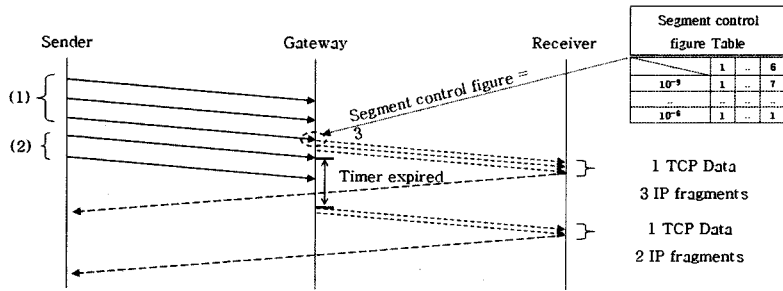


그림 3 세그먼트 크기 조정과정

용한다. 타이머의 동작 과정을 살펴보면 (2)와 같이 데이터 패킷을 수신하면 타이머를 설정한다. 일정 시간 후 타이머가 완료되면 현재까지 버퍼링 된 2개의 패킷을 하나의 세그먼트로 조립하여 전송한다. 이와 같은 과정으로 세그먼트 크기 조정을 수행한다.

3.4 망 환경에 따른 동적 세그먼트 크기 조정계수 결정

동적 세그먼트 크기 조정 기법은 비대칭 망에서 세그먼트 조정계수에 따라 여러 개의 세그먼트를 하나의 세그먼트로 재조립하여 응답패킷의 수를 줄이므로 상향링크의 혼잡을 완화시킬 수 있다. 게이트웨이는 상향링크에 혼잡 발생 시 망의 환경에 따른 최적의 세그먼트 조정계수 값을 적용시키기 위해 현재 주어진 망의 성능에 영향을 주는 요인들을 동적으로 측정하여 동일한 환경에서 측정된 세그먼트 조정계수 값을 적용하여 세그먼트를 재조립한다. 본 절에서는 망 성능에 영향을 주는 요인들인 대역폭 비대칭율과 패킷 손실율을 게이트웨이에서 동적으로 측정하고 세그먼트 조정계수 값을 획득하는 방법에 대하여 기술한다.

3.4.1 비대칭 대역폭

일반적인 데이터 전송과정에서 수신단은 지연응답 계수 만큼의 데이터 패킷을 송신단으로부터 수신한 후 하나의 응답 패킷을 송신단으로 전송한다. 이때 상향링크의 대역폭이 충분하지 않은 경우 수신단에서 발생한 응답 패킷으로 인해 상향링크에 혼잡이 발생하게 되고 이로 인하여 송신단의 전송율이 저하된다. 게이트웨이는 측정된 망과 동일한 비대칭율을 가지는 세그먼트 조정계수를 획득하기 위해 (1)의 식으로 동적으로 망의 비대칭율을 측정한다.

$$Asymmetric\ ratio =$$

$$\frac{Downlink\ B.W / Downlink\ Pkt.\ Size}{Uplink\ B.W / Uplink\ Pkt.\ Size} \times \frac{1}{delayed\ ACK}$$

비대칭율이 1 이상일 경우에는 응답 패킷에 의한 상향링크의 혼잡이 발생하게 된다. 만일 비대칭율이 3 이라면 수신단에서는 1개의 응답 패킷을 전송하기 위하여

최소 3개의 데이터 패킷을 수신해야만 상향링크 상의 혼잡이 발생하지 않는다. 게이트웨이는 패킷 시퀀스 정보의 유지를 통하여 (1)에서 사용되어진 변수들을 아래의 방법으로 측정한다.

Downlink Bandwidth

패킷 손실율이 없는 환경에서 하향링크 상으로 전송되어지는 최대 성능은 전송 윈도우 크기와 RTT에 의해서 결정된다. 전송 윈도우 크기는 TCP 연결설정 중 SYN 패킷을 통해 측정 할 수 있으며 Scale Option이 사용되지 않은 경우, 기본 값은 65,535 Bytes이다. RTT는 상향링크의 혼잡으로 인한 큐잉 지연이 제외된 값을 측정해야 하므로 TCP 연결 설정 후 Slow Start구간 동안 측정되어진 최소 값을 통하여 측정한다.

Uplink Bandwidth

상향링크의 대역폭을 측정하기 위해서 상향링크의 혼잡이 발생했을 경우 초당 전송되어지는 응답패킷의 수를 측정한다. 상향링크에 혼잡이 발생했다는 의미는 현재 상향링크의 전체 대역폭을 사용하더라도 응답 패킷을 처리하지 못하고 있음을 의미한다. 즉, 상향링크의 전체 대역폭을 사용하고 있을 때 초당 전송 되어지는 응답 패킷의 수와 그 크기를 이용하여 대역폭을 측정한다.

Downlink Packet Size, Uplink Packet Size

게이트웨이를 지나가는 데이터 패킷과 응답 패킷을 통하여 측정 할 수 있다.

Delayed ACK

응답 패킷에 의해 전송되어지는 데이터 패킷의 수는 데이터 패킷과 응답 패킷의 비율로 측정한다.

3.4.2 패킷 손실율

망의 성능에 영향을 주는 또 다른 요인으로 비트 에러에 의한 패킷 손실율을 들 수 있다. 송신단은 이러한 비트 에러에 의한 패킷 손실을 망의 혼잡으로 인식하여 불필요하게 혼잡 윈도우 크기를 감소시키므로 전송속도를 감소시키는 결과를 가져오게 된다. 최적의 세그먼트 조정계수 값을 참조하기 위하여 게이트웨이에서는 동적으로 망의 패킷 손실율의 측정이 요구되어진다. 패킷 손

실율은 (2)와 같이 전체 전송되어진 패킷과 비트 에러로 인해 재전송 되어진 패킷의 비율로 측정된다.

$Pkt. loss ratio =$

$$\frac{Number\ of\ R\ e\ m\ i\ t.\ P\ k\ t.}{Number\ of\ X\ m\ i\ t.\ P\ k\ t. + Number\ of\ R\ e\ m\ i\ t.\ P\ k\ t.}$$

Number of Retransmitted Packet

패킷 손실로 인해 송신단에 의해 재 전송된 패킷의 수는 다음과 같이 패킷 시퀀스 정보를 이용하여 측정한다. 게이트웨이는 세그먼트 조정 과정을 통하여 패킷 시퀀스 정보를 유지하고 있다. 이때 수신단의 중복 응답 패킷에 의해 송신단에서 빠른 재전송이 수행되는 경우 망의 비트 에러로 인한 패킷 손실을 감지할 수 있다.

Number of Transmitted Packet

송신단에 의해서 전송된 전체 데이터 패킷의 수는 게이트웨이에서 패킷의 감시를 통하여 측정한다.

3.4.3 세그먼트 조정 계수의 획득

RTT의 증가로 상향링크의 혼잡을 감지한 게이트웨이는 측정을 통하여 게이트웨이 내부에 테이블 형태로 저장하고 있는 세그먼트 조정 계수 값을 참조하기 위하여 비대칭 율과 패킷 손실율을 매개변수로 입력하여 세그먼트 조정 계수를 요청한다. 세그먼트 크기 조정 계수 테이블은 입력된 매개변수에 따른 값을 반환하고 이를 획득한 게이트웨이의 세그먼트 크기 조절 모듈을 현재 망에 적합한 크기로 세그먼트 크기를 조절하여 수신단으로 전송한다.

3.5 패킷 손실 복구

크기가 조정된 세그먼트는 망의 MTU에 맞도록 IP 단편화 기능을 사용하여 전송된다. 이를 통해 생성된 IP 패킷들 중 일부 패킷에 에러가 발생하는 경우, 수신단에서는 패킷들을 조립할 수 없기 때문에 정상적으로 수신한 나머지 패킷들도 버리게 된다. 수신단에서 SACK[5]를 지원하지 않는 경우 송신단에서는 연속된 세그먼트들의 손실을 인식할 수 없기 때문에 세그먼트들을 순차적으로 복구해야 한다. 그에 따라 복구 시간이 늦어지거나 송신단의 재전송 타이머가 만료되는 문제점이 발생

한다. 이런 문제점을 해결하기 위해 본 논문에서는 패킷 시퀀스 정보의 유지를 통해 손실된 세그먼트들을 게이트웨이에서 SACK 옵션으로 일괄 복구할 수 있도록 하여 손실 패킷의 복구 시간을 줄인다. 그림 4는 패킷 손실 복구 과정을 나타낸다. 게이트웨이에서 생성한 IP 패킷들 중 일부가 손실된 경우 수신단에서는 함께 생성된 패킷들을 모두 버린다. 중복 응답 패킷이 발생하면 패킷 시퀀스 정보를 통해 손실된 세그먼트들에 대한 SACK 생성하여 전송하여 송신단은 손실된 패킷들을 일괄 복구한다. 하지만 송신단에서 SACK 옵션을 지원하지 않는 경우 게이트웨이의 SACK 옵션 사용을 통한 복구 시간의 감소 효과는 얻을 수 없다.

3.6 혼잡 제어 구간 예측

게이트웨이는 상향링크 혼잡 발생시 세그먼트의 크기를 조정하여 생성되는 응답 패킷의 수를 줄이게 된다. 이때 줄어든 응답패킷으로 인하여 송신단의 혼잡원도우가 느리게 증가하는 문제점이 발생하는데 게이트웨이는 패킷 시퀀스 정보를 통한 혼잡 제어 구간의 예측을 통하여 이와 같은 문제를 해결한다. 송신단의 혼잡 제어 구간은 패킷 시퀀스 정보를 통해 예측되는데 게이트웨이는 이 구간동안 세그먼트 조정기법을 적용하지 않음으로써 혼잡 원도우가 느리게 증가하는 문제점을 해결한다.

혼잡 제어 구간은 다음의 세 가지 경우로 예측 할 수 있는데 첫 번째는 초기 연결 설정이 이루어진 경우이고 두 번째는 수신 측의 중복 응답 패킷으로 인한 빠른 재전송의 경우, 마지막으로 송신 측의 전송 타이머가 만료되어 데이터 패킷을 재전송하는 것이다. 초기 연결 설정 구간은 게이트웨이에서 SYN 패킷의 이동을 통하여 감지할 수 있고 중복 응답 패킷과 타이머의 만료로 인한 혼잡 제어 구간의 발생은 중복 데이터 패킷의 수신을 통해 예측 할 수 있다. 이와 같이 혼잡 제어 구간을 예측하여 세그먼트 조정 기법을 적용하지 않음으로써 혼잡 제어 구간에서 혼잡 원도우가 느리게 증가하는 문제점을 해결한다.

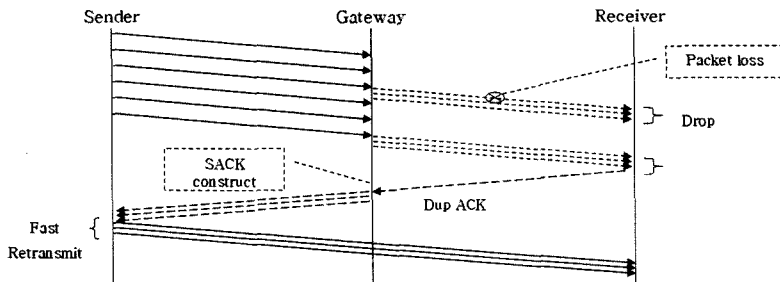


그림 4 패킷 손실 복구 과정

4. 성능평가 및 분석

본 장에서는 동적 세그먼트 크기 조정기법의 시뮬레이션 환경을 설명하고 비대칭 망의 하나인 GEO 위성망 환경을 구축하여 성능 향상 정도를 확인한다. GEO 위성망은 대역폭의 높은 비대칭성을 보이는데 이러한 특성을 고려하지 않고 범용 TCP를 위성망 환경에 적용하는 경우에는 TCP의 성능 저하가 발생한다. 이를 해결하기 위해 본 논문에서 제안된 동적 세그먼트 조정 기법을 GEO 위성망 환경에 적용하여 TCP의 성능 향상 정도를 측정하고 그 결과를 분석한다.

4.1 시뮬레이션 환경

본 논문에서 제안한 동적 세그먼트 조정기법의 시뮬레이션 환경은 그림 5와 같다. 시뮬레이션을 위해 네트워크 시뮬레이터인 OPNET 10.0a를 사용하였고[6] 비대칭 망의 하나인 GEO 위성 망 환경을 구축하여 제안된 기법의 성능을 확인하였다. 위성망 환경은 RTT 520ms, 하향링크의 대역폭 45Mbps, 상향링크의 대역폭 8~256Kbps의 값으로 설정된다[7,8]. 또 비트 에러로 인한 패킷 손실율을 반영하기 위해 10^{-9} ~ 10^{-6} 의 비트 에러율을 설정하였으며 패킷의 크기는 각각 데이터 패킷 1480bytes, 응답 패킷 40bytes로 설정하여 시뮬레이션을 수행 하였다. 위성망 환경에서 동적 세그먼트 조정 기법은 위성망과 송신단이 존재하는 유선망 사이의 통신을 담당하는 게이트웨이에 적용되었다.

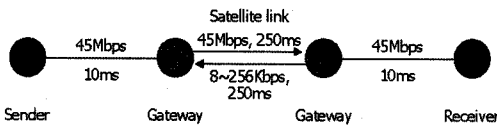


그림 5 시뮬레이션 환경

4.2 동적 세그먼트 조정계수 결정

시뮬레이션 환경에서 게이트웨이는 송수신단 사이에 위치하면서 동적으로 망의 상태를 판단하여 세그먼트 조정계수를 결정한다. 이때 세그먼트 조정계수를 결정하는 요인인 망의 비대칭성과 패킷 손실율은 게이트웨이를 통하여 동적으로 측정된다. 그림 6은 상향링크 8Kbps의 비대칭 대역폭과 비트 에러율이 10^{-7} 인 환경에서 측정되어진 세그먼트 조정계수의 변화를 나타낸다.

초기 측정 구간에서는 세그먼트 조정계수의 변화를 관찰 할 수 있는데 이는 패킷 손실율의 변화를 의미한다. 패킷 손실율은 손실된 패킷의 누적치를 통하여 측정되어지므로 일정 구간의 데이터 전송이 이루어진 후에야 정확한 망의 패킷 손실율을 측정할 수 있다. 이를 통하여 게이트웨이는 변화하는 망의 상태를 반영하여 망 환경에 최적화된 세그먼트 조정계수를 결정하는 것을

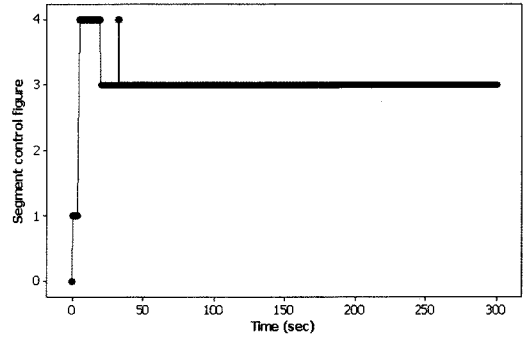


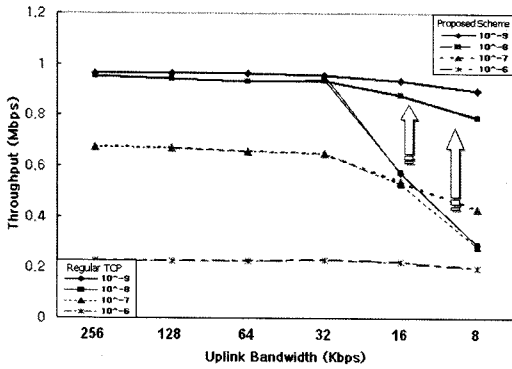
그림 6 게이트웨이에서 측정되어지는 세그먼트 조정계수

확인할 수 있다.

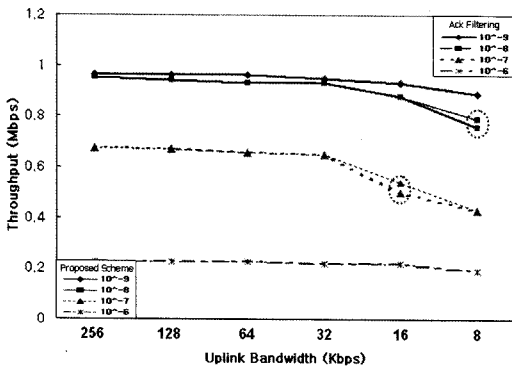
4.3 성능 평가 및 분석

성능의 향상 정도를 확인하기 위해서 제안된 기법이 적용된 TCP와 범용 TCP 및 제안된 기법과 정성적 성능이 가장 유사한 Ack Filtering를 적용한 TCP의 성능을 각각 측정하고 비교한다. 그림 7은 GEO 위성 망[9]에서 상향링크 대역폭과 비트 에러율에 따른 TCP 성능의 변화를 나타낸다. 범용 TCP의 경우 상향링크 32Kbps이상 구간에서는 각 비트 에러율당 최대의 성능을 보이고 있다. 하지만 상향링크가 32Kbps 이하의 낮은 대역폭으로 설정될 때부터 성능의 저하가 발생하는 데 이는 수신단의 응답 패킷으로 인해 상향링크의 혼잡이 발생하여 패킷의 지연 및 손실이 발생되기 때문이다. 이러한 성능의 저하는 상향링크의 대역폭이 낮아질수록 대역폭의 비대칭율이 증가되어 더욱 심화되고 있음을 확인할 수 있다. 비트 에러율이 10^{-6} 이하인 경우에는 낮은 전송율로 인하여 상향링크의 혼잡으로 인한 성능 저하가 나타나지 않았다[10].

제안된 기법이 적용된 TCP의 경우 상향링크가 32Kbps 이하의 대역폭으로 설정된 구간에서도 각 비트 에러율당 최대에 가까운 성능을 보이고 있다. 이는 낮은 대역폭의 상향링크에 응답 패킷으로 인한 혼잡이 발생한 경우 망의 비대칭율과 패킷 손실율에 따라 세그먼트의 크기를 조정하여 응답 패킷의 수를 줄이므로 상향링크의 혼잡을 완화하여 성능의 저하를 방지하기 때문이다. 하지만 세그먼트 크기 조정 과정에서 오는 처리 지연과 낮은 대역폭이 지니고 있는 전송 지연으로 인해 각 비트 에러율당 최대의 성능에는 도달하지 못하고 있다. 비트 에러율이 10^{-7} 이상인 경우 상향링크의 혼잡으로 인한 성능 저하 요인이 더 크게 작용하므로 동적 세그먼트 조정 기법을 통하여 성능이 향상되고 10^{-6} 이하인 경우에는 비트 에러로 인한 성능저하 요인이 더 크기 때문에 범용 TCP와 동일한 성능을 나타내고 있다. 동적 세그먼트 크기 조정 기법을 적용한 게이트웨이를 사용



(a) 범용 TCP와의 성능 비교



(b) AF과의 성능 비교

그림 7 제안된 기법과의 성능 비교

하여 위성망 환경에서의 TCP 성능을 측정된 결과 비대칭 상향링크 8Kbps일 때 최대 217%, 16Kbps일 때 최대 63%의 성능향상을 보였다. 또 GEO 위성망의 일반적인 비트 에러율인 10^{-7} 에서 본 기법을 적용하였을 경우 비대칭 상향링크 8Kbps일 때 최대 185%, 16Kbps일 때 최대 7%의 성능향상을 확인할 수 있었다.

제안된 기법과 정성적 성능이 가장 유사한 Ack Filtering 기법이 적용된 TCP의 경우 상향링크 16Kbps, 비트 에러율 10^{-7} 지점과 상향링크 8Kbps, 비트 에러율 10^{-8} 지점에서 높은 대역폭의 하향링크 자체가 지니는 낮은 전송 지연으로 인하여 제안된 기법에 비하여 4~8%의 낮은 성능을 보이고 있다. AF를 적용한 TCP는 대역폭 비대칭으로 인하여 성능이 저하되어지는 상향링크 32Kbps 이하의 구간에서는 거의 동일한 성능을 나타내고 있는데 이는 두 기법이 혼잡 발생 시 동적으로 응답 패킷의 수를 줄이므로 혼잡을 완화시키기 때문이다.

하지만 제안된 기법은 위성망 환경에서 Ack Filtering 기법에 비해 서비스 제공 측면에서 많은 비용을 절감할 수 있다. 두 기법은 동일하게 단대단 의미구조를 유지하며 송수신단의 수정 없이 상향링크 혼잡을 제

어하여 성능을 향상 시키지만 수신단 게이트웨이에 적용되어 상향링크 혼잡을 제어하는 Ack Filtering의 경우 모든 수신자 위성 수신기(IDU : In Door Unit)를 수정해야 하는 문제점을 지니게 된다. 이에 비해 제안된 기법은 송신단 게이트웨이에 적용되는 기법으로 위성 사업자 측면에서 송신단 게이트웨이의 수정만으로도 상향링크의 혼잡제어가 가능하므로 서비스 제공 측면에서 많은 비용을 절감할 수 있다.

5. 결론 및 향후 과제

본 논문에서는 비대칭 망에서의 TCP 성능향상을 위해 동적 세그먼트 크기 조정 기법을 제안하였다. 하향링크에 비해 낮은 대역폭으로 구성된 상향링크에서는 응답 패킷으로 인한 혼잡이 발생하게 되는데 그로 인해 패킷의 손실 및 지연으로 TCP의 성능저하가 발생된다. 동적 세그먼트 크기 조정 기법은 송수신단 사이에 위치한 게이트웨이에서 응답 패킷으로 인한 상향링크 혼잡 발생시 망 환경에 맞도록 세그먼트의 크기를 조정하여 응답 패킷의 수를 줄임으로써 상향링크의 혼잡을 제어할 수 있다. 또한 패킷 손실시 패킷 시퀀스 정보의 유지를 통해 SACK 옵션을 생성하여 빠른 복구를 수행하여 비대칭 망 전체의 성능 향상을 가져온다. 그리고 세그먼트 크기조정으로 인해 발생하는 송신단의 혼잡원도우가 느리게 증가하는 문제는 혼잡 구간을 예측하여 제안된 기법을 적용시키지 않음으로써 해결할 수 있다.

제안된 기법의 성능을 측정하기 위해 비대칭 망의 한 종류인 GEO 위성망 환경에서 시뮬레이션 결과를 통해 최대 317%의 성능이 향상됨을 확인할 수 있었다. 또 Ack Filtering 기법에 비해 서비스 제공 측면에서 많은 비용을 절감할 수 있으며, 기존에 존재하지 않았던 새로운 망 구조를 제시하여 혼잡제어 기법의 다양성을 증가시켰다. 이와 같이 본 논문에서는 제안된 기법을 비대칭 망에 적용함으로써 단대단 의미구조를 유지하고 송수신단의 TCP 수정 없이 상향링크의 혼잡을 효과적으로 제어하여 TCP의 성능을 향상시킬 수 있다. 향후 연구로는 좀더 다양한 비대칭 망 환경에서 세그먼트 조정 계수 측정 및 성능 측정이 필요하며 또한, TCP 단일연결 환경이 아닌 다중연결 환경을 고려한 세그먼트 조정 계수 측정과 이에 따른 기법연구가 필요하다.

참고 문헌

[1] H. Balakrishnan and V.N. Padmanabhan, "How Network Asymmetry Affects TCP," IEEE Communications Magazine, Vol.39, Issue4, Apr. 2001, pp. 60-67.
 [2] H. Balakrishnan, V. Padmanabhan, G. Fairhurst

- and M. Sooriyabandara, "TCP Performance Implications of Network Path Asymmetry," RFC 3449, Dec. 2002.
- [3] L. Yu, Y. Minhua and Z. Huimin, "The Improvement of TCP Performance in Bandwidth Asymmetric Network," 14th IEEE Proceedings on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications 2003, Vol.1, Sep. 2003, pp. 482-486.
- [4] T. Hasegawa, T. Hasegawa and M. Lagreze, "A Mechanism for TCP Performance Enhancement over Asymmetrical Environment," Proceedings of the 8th IEEE International Symposium on Computers and Communication, Jul. 2003, pp. 1135-1140.
- [5] M. Mathis, J. Mahdavi, S. Floyd and A. Romanow, "TCP Selective Acknowledgment Options," RFC 2018, Oct. 1996.
- [6] Xinjie Chang, "Network simulation with OPNET," IEEE Simulation Conference Proceedings, Vol.1, Dec. 1999, pp. 307-314.
- [7] M. Allman et al., "Ongoing TCP Research Related to Satellites," RFC 2760, Feb. 2000.
- [8] C. Barakat, E. Altman, and W. Dabbous, "On TCP Performance in a Heterogeneous Network: A Survey," IEEE Communications Magazine, Vol.38, No.1, Jan. 2000, pp. 40-46.
- [9] Chumchu, P, "Performance analysis of reliable multicast transport protocols for GEO stellite network," IEEE MASCOTS 2004 Proceedings, Oct. 2004, pp. 318-326.
- [10] Obata, H and Ishida, K and Funasaka, j and Amano, K, "TCP performance analysis on asymmetric networks composed of satellite and terrestrial links," IEEE Network Protocols 2000. Proceedings, Nov. 2000, pp. 199-206.



임 경 식

1982년 경북대학교 전자공학과(학사). 1985년 한국과학기술원 전산학과(석사). 1994년 University of Florida 전산학과 박사. 1995년 한국전자통신연구원 책임연구원, 실장. 현재, 경북대학교 전자전기컴퓨터학부 부교수. 관심분야는 이동컴퓨팅,

무선인터넷, 홈 네트워킹, 컴퓨터통신



제 정 광

2004년 대구대학교 정보통신공학부(학사). 2006년 경북대학교 정보통신학과(석사). 현재 LS산전 중앙연구소 산업정보시스템 연구단 연구원. 관심분야는 컴퓨터통신, 홈 네트워킹, 필드버스 통신



이 지 현

1997년 경북대학교 응용생명과학부(학사). 2005년 경북대학교 정보통신학과(석사). 현재 경북대학교 컴퓨터과학과 박사과정. 관심분야는 컴퓨터통신, 모바일이동통신, 무선인터넷